

日本の展望—学術からの提言 2010

報告

電気電子工学分野の展望  
—変革期の電気電子工学、今後の展開に向けて—



平成22年（2010年）4月5日

日本学術会議

電気電子工学委員会



この報告は、日本学術会議電気電子工学委員会における審議結果を取りまとめて公開するものである。

### 日本学術会議電気電子工学委員会

委員長	田中 英彦	(第三部会員)	情報セキュリティ大学院大学情報セキュリティ研究科・研究科長 教授
副委員長	伊澤 達夫	(第三部会員)	東京工業大学理事・副学長
幹事	石原 宏	(第三部会員)	東京工業大学大学院総合理工学研究科・教授
幹事	大西 公平	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部 教授
	青山 友紀	(第三部会員)	慶應義塾大学デジタルメディア・コンテンツ総合研究機構・教授
	荒川 泰彦	(第三部会員)	東京大学先端科学技術研究センター・教授
	今井 秀樹	(第三部会員)	中央大学理工学部・教授
	小舘 香椎子	(第三部会員)	日本女子大学理学部・教授
	榊 裕之	(第三部会員)	豊田工業大学・副学長
	坂内 正夫	(第三部会員)	情報・システム研究機構国立情報学研究所・所長
	坂村 健	(第三部会員)	東京大学大学院情報学環・学際情報学府・教授
	福田 敏男	(第三部会員)	名古屋大学大学院工学研究科・教授
	井筒 雅之	(連携会員)	東京工業大学大学院総合理工学研究科特任教授
	小林 一哉	(特任連携会員)	中央大学教授

報告書及び参考資料の作成にあたり、以下の方々に御協力いただきました。

荒井 滋久	(連携会員)	東京工業大学量子ナノエレクトロニクス研究センター 教授
伊賀 健一	(連携会員)	東京工業大学 学長
生駒 俊明	(連携会員)	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター センター長
一村 信吾	(連携会員)	独立行政法人産業技術総合研究所計測フロンティア研究部門長
伊福部 達	(連携会員)	東京大学先端科学技術研究センター教授
岩田 穆	(連携会員)	広島大学 教授
内山 隆	(連携会員)	株式会社富士通研究所 取締役

江刺 正喜	(連携会員)	東北大学大学院工学研究科附属マイクロナノマシニング研究教育センター センター長・教授
榎並 和雅	(連携会員)	独立行政法人情報通信研究機構 ユニバーサルメディア研究センター センター長
大熊 繁	(連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻教授
大泊 巖	(連携会員)	早稲田大学・理工学術院教授
大野 英男	(連携会員)	東北大学 電気通信研究所 教授
大森 慎吾	(連携会員)	情報通信研究機構理事
笠見 昭信	(連携会員)	株式会社東芝 常任顧問
桂井 誠	(連携会員)	放送大学 東京文京学習センター所長
金子 真	(連携会員)	大阪大学大学院工学研究科教授
川上 潤三	(連携会員)	株式会社日立製作所 顧問
河内 正夫	(連携会員)	NTTエレクトロニクス株式会社技術顧問、 N E Lフェロー
岸野 克巳	(連携会員)	上智大学教授
木村 忠正	(連携会員)	電気通信大学電気通信学部電子工学科教授
河野 隆二	(連携会員)	横浜国立大学大学院工学研究院教授兼 同大学未来情報通信医療社会基盤センター長
國分 泰雄	(連携会員)	横浜国立大学理事・副学長
小柴 正則	(連携会員)	北海道大学大学院情報科学研究科長・教授
小畑 秀文	(連携会員)	東京農工大学学長
小林 功郎	(連携会員)	東京工業大学精密工学研究所所長・教授
小柳 光正	(連携会員)	東北大学大学院工学研究科バイオロボティクス専攻教授
柴田 直	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科 教授
仙石 正和	(連携会員)	新潟大学理事・副学長 教授
立居場 光生	(連携会員)	有明工業高等専門学校長
谷口 研二	(連携会員)	大阪大学大学院工学研究科教授
都甲 潔	(連携会員)	九州大学大学院システム情報科学研究院電子デバイス工学部門教授
中川 正雄	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部教授
中沢 正隆	(連携会員)	東北大学電気通信研究所教授

中村 慶久	(連携会員)	岩手県立大学学長
西 義雄	(連携会員)	スタンフォード大学電気工学科教授
西永 頌	(連携会員)	豊橋技術科学大学学長
野田 進	(連携会員)	京都大学工学研究科電子物性工学専攻教授
原島 文雄	(連携会員)	首都大学東京学長
福井 孝志	(連携会員)	北海道大学情報科学研究科教授
藤田 静雄	(連携会員)	京都大学 国際融合創造センター教授
保立 和夫	(連携会員)	東京大学 大学院工学系研究科 電子工学専攻教授
堀越 佳治	(連携会員)	早稲田大学理工学術院教授
松井 信行	(連携会員)	名古屋工業大学学長
松重 和美	(連携会員)	京都大学副学長、国際イノベーション機構長教授
松下 照男	(連携会員)	九州工業大学教授
三浦 道子	(連携会員)	広島大学大学院先端物質科学研究科量子物質科学専攻半導体集積科学講座教授
山本 克之	(連携会員)	北海道大学大学院情報科学研究科教授
山本 喜久	(連携会員)	国立情報学研究所教授
吉田 進	(連携会員)	京都大学大学院情報学研究科教授
渡邊 久恒	(連携会員)	株式会社半導体先端テクノロジーズ代表取締役社長

※ 名簿の役職等は平成 22 年 3 月現在

# 要 旨

## 1 はじめに

工学体系の根幹の一つである電気電子工学は、急速に発展する科学・技術の基盤として、他分野と相補し、現代の学術に不可欠な技術分野を形成している。環境・資源の有限性が明白となるとともに、少子高齢化社会へと変質する時代にあつて、さらなる技術革新、人材育成が、我が国、ひいては人類の、幸せな未来を目指す上での鍵である。社会生活に現れるあらゆる場面で、電気電子工学によって得られた工学技術が活用されることで、安心・安全で、物質的・精神的により豊かな社会へと、持続的に発展する社会を実現することが出来る。産業としての電気電子工学も、これまで同様、これからの社会がさらに前進するための原動力であり、その健全な発展が我が国の支えとなることは論を俟たない。当該技術により、我が国の産業イノベーションを継続的に先導推進し、確かな国際競争力の維持向上を実現しなければならない。電気電子工学の技術としての枠組みは、社会の急速な変化とも相まって、大きな変革期を迎えている。本報告では、電気電子工学を取りまく現況と、今後進むであろう状況変化を考究し、今後この技術分野がどの様にあるべきかについて議論した結果をまとめている。

## 2 電気電子工学分野の現状と課題

急速な少子化と、社会の二極化が進む我が国では、若者の理科離れ、工学部離れ、電気電子分野離れが顕著となり、我が国の誇る、ものづくりの伝統を、早晚、喪失するのではないかと危惧され始めている。しかしながら、新しい21世紀社会の構築には、依然、電気電子工学が大きな役割を果たすに違いなく、これに応えるべく技術分野を整え、さらに発展させることは、電気電子工学に科せられた社会的責務である。本報告では、特に専心すべき課題として、以下の3点に的を絞って議論している。

- (1) 人材の育成・確保
- (2) 新価値の創造
- (3) 産官学パートナーシップの確立

## 3 推進すべき技術課題

電気電子工学を、(1) 電気機器システムおよび制御技術に関わる電気工学、(2) LSIやレーザ、ディスプレイなどの先端デバイスや機器に関わる電子工学、(3) 通信システムやコンピュータなどに関わるシステム技術の3つに分け、それぞれについて特に重要と考えられる項目を挙げて議論している。

### (1) 制御・パワー工学関連技術

有限な資源を効率よく活用する観点から、制御・パワー工学の重要性はますます増大する。グリーン ICT、スマートグリッド、蓄電技術など、再生可能な、あるいは、環境に優しいエネルギー活用が不可欠である。また、人に優しいインターフェース技術、エ

ージェクト技術、遠隔地からの高信頼・双方向制御技術などの実現が極めて重要となる。

- ① 電力技術
- ② 制御工学
- ③ バイラテラルコントロール

## (2) デバイス・電子機器工学関連技術

システムや製品、あるいは社会インフラの、更なる、高機能性、汎用性、経済性に対する要求は留まるところを知らず、ひいては、電子デバイスの極微細化と、超巨大回路集積化は、物理的極限を目指すものとなっている。日々、指数関数的に拡大する情報通信を賄うには、超高速、超低消費電力なデバイス、システム技術が不可欠である。またこれを誰でもが安心して利用できる技術とする必要がある。

- ① デバイス基盤技術
- ② 高機能集積回路技術
- ③ フォトニックデバイス技術
- ④ エネルギーエレクトロニクス技術
- ⑤ ワイヤレスデバイス技術
- ⑥ センシング技術

## (3) 通信電子システム関連技術

便利で確実、セキュアな通信電子システムを実現するシステムアーキテクチャ技術、超高速・超大容量情報処理を実現するシステム技術、高臨場感環境を提供することが出来る情報メディア技術、信頼性が高く安心して利用することの出来る情報通信技術、など、これからの電気電子工学は、極めて高い目標を設定する必要がある。

- ① 情報通信システム技術
- ② 電子システム技術
- ③ 情報メディア技術
- ④ ディペンダブル ICT

## 4 むすび

創造の喜び、精魂を込めて新しいものを創り出すことの充実感を、人々の間で共有し、社会にイノベーションをもたらすべく、今こそ、電気電子工学の更なる興隆、新しい電気電子工学の構築を目指す必要がある。そのために電気電子工学委員会として、以下の3つを重要項目として提起している。

- ア 電気電子工学のあり方の検討
- イ 電気電子工学分野の研究開発環境の整備
- ウ 人材育成環境の整備

## 目 次

1	はじめに.....	1
2	電気電子工学分野の現状と課題.....	3
	(1) 人材の育成・確保.....	4
	(2) 新価値の創造.....	6
	(3) 産官学パートナーシップの確立.....	7
3	推進すべき技術課題.....	9
	(1) 制御・パワー工学関連技術.....	9
	① 電力技術.....	9
	② 制御技術.....	10
	③ バイラテラルコントロール.....	13
	(2) デバイス・電子機器工学関連技術.....	14
	① デバイス基盤技術.....	14
	② 高機能集積回路技術.....	14
	③ フォトニックデバイス技術.....	15
	④ エネルギーエレクトロニクス技術.....	16
	⑤ ワイヤレスデバイス技術.....	17
	⑥ センシング技術.....	17
	(3) 通信・電子システム関連技術.....	18
	① 情報通信システム技術.....	18
	② 電子システム技術.....	22
	③ 情報メディア技術.....	23
	④ ディペンダブルICT.....	26
4	むすび.....	29
	<参考資料> シンポジウム「電気電子工学分野の将来像」.....	30



## 1 はじめに

電気電子工学は、(1) 電気機器システムおよび制御技術に関わる電気工学、(2) LSI (大規模集積回路) やレーザ、液晶ディスプレイなどの先端デバイスや機器に関わる電子工学、(3) 通信システムやコンピュータなどに関わる情報通信工学技術 (ICT) などが主要な技術分野である。これらに係る近年の著しい技術革新は、人々の暮らしと社会の仕組みを大きく変容させつつある。インターネットや携帯電話の普及、産業ロボットによる生産活動の自動化など、新しい波、情報化社会へと向かう大きな流れ、が押しよせている。こうした世界的変革に、我が国の大学、各種研究機関、産業界は、基礎的研究、応用技術開発・製品化技術の確立、さらにはそれらを支える人材育成など、大きな役割を果たしてきた。その実績は国際的にも高く評価されている。また、我が国の電子、電気機器産業界は、国際的に展開するハイテク企業を始めとして、青色 LED (光半導体) や薄型テレビの初の製品化などを通じ、我が国に繁栄をもたらしてきた。さらに、電気電子技術関連企業では、研究開発や製品設計のために、電気電子工学、機械、化学、物理など広い分野から多くの人材を雇用育成し、学際的活躍の場を与えてきており、理工系人材が活躍する場としても、あるいは、産業界での研究開発経験を持つ大学教員の供給源としても、重要な役割を果たしてきた。

電気電子工学分野における目くるめく技術の発展と世界的普及は、他方では、我が国の産学官界が新たな対応を迫られる状況を生み出している。例えば、主要技術の国際標準化に加えて、専門国際企業による寡占化、社会システムの情報化、新興国の台頭、環境面からの制約、エネルギーと資源供給の逼迫などが顕著となり、経済や社会の状況は大きく変化し、理工系の学術や技術の枠組みも変質しつつある。この結果、電力供給や情報通信システムなどの社会インフラ、計算機や自動車用電子機器、LSI などの先端システム、素子や素材など、電子電気工学に関する多くの産業にとって構造的変革が急務となり、大学・大学院における理工系の教育・研究のあり方にも、見直しが求められている。ただし、こうした厳しい状況は、例えば環境問題やエネルギーと資料供給の問題など、人類が解決すべき基本課題を含んでいて、人類社会に新たな可能性を拓く機会と捉えることもできる。特に、科学的探求の深化、技術の創造と展開においては、今後、ますます日本を含めたアジアの役割増大が予測される中で、我が国の大学・大学院における教育研究の内容と進め方を抜本的に改革し、質の高い知的産物の創出と人材の育成・活用を図ることが求められている。それに際しては、研究開発職や大学教員職が、優れた才能を持つ若者にとって魅力的な職種となるよう、雇用制度の点検や再構築も不可欠である。

また同時に、電気電子工学が、安心して豊かな社会を作り上げて行く上でどの様に貢献できるかを常に念頭に置いておくことも極めて重要である。電気電子工学技術を基礎とした新しい製品や社会システムは、これまで、ともすれば、社会的弱者への配慮に欠けがちとなりデジタルデバイドと呼ばれる現象を引き起こしたり、あまりに独自技術にのめり込み過ぎてガラパゴス現象と揶揄されるような製品を国内展開するなどの問題を引き起こすこともあった。敷衍すれば、技術開発を進め成果を社会に還元する際に、心理学や美学、

経済学、政策科学などの人文科学的、社会科学的視点を持つことがますます重要となってきた。さらに換言すれば、これからの新しい電気電子工学が技術体系を構築して行く上では、数学や物理学、化学、生物学などの自然科学が明らかにした真理を基礎とするだけでなく、人文科学や社会科学の成果を積極的に取り込む必要があり、また、既にそのような傾向が見られ始めている。次の社会に向けて、電気電子工学の新展開が強く望まれるとともに、その胎動が始まりつつある。

以上のように、社会的、学術的環境の変化に伴い、電気電子工学が自己変革を進めることによって、この分野におけるさらなる技術革新、人材育成を担うことは、我が国社会、ひいては人類社会全体を新時代へと導く鍵である。社会のあらゆる側面に本分野の担う技術が浸透し、産業界を牽引していくことが重要である。文明の象徴であった照明が闇夜を社会から追放したことを端緒に、電気電子工学の発展が我々の生活の質を格段に高めてきた歴史を振り返ってみれば、現代社会における電気電子工学の重要性が再認識できる。当然ながら学術分野としての電気電子工学のみではなく、経済社会を支える基幹技術としての電気電子工学も今後の社会の前進のための原動力であり、その健全な発展が我が国を支えていくことは論を俟たない。その必然性と意義を再確認するとともに、学術と産業界とのつながりを強化することで、我が国の産業イノベーションを継続的に先導推進し、確かな国際競争力の維持向上を実現しなければならない。

以下では、電気電子工学を取りまく現状と課題の把握によって、今後進むであろう状況変化を考究し、今後この技術分野がどの様に変革すべきかについて議論した結果をまとめている。

## 2 電気電子工学分野の現状と課題

電気電子工学技術は、この半世紀の間に著しい発展を遂げ、我が国に経済的な発展をもたらしてきた。しかし、このような技術の発展と世界的普及は、我が国の大学と産業にとって好都合な状況のみを生みだしたわけではない。実際、国際的な競争の激化、資源・エネルギーや環境面からの制約などのために、電気電子工学に関係する多くの産業が構造的変革を迫られるようになってきた。さらに、我が国では少子高齢化が進んで労働人口の減少が問題になりつつあるが、それに加えて、若者の理科離れ、工学離れ、電気電子分野離れが顕著になっており、電気電子工学委員会が早急に取り組むべき課題は多い。

これらの課題の解決には、まず我々の目指すべき 21 世紀社会の姿を思い描く必要がある。上で述べたように、20 世紀後半におけるエレクトロニクスを中心とした科学・技術の飛躍的発展により、我々の生活が物質面で豊かになったことは間違いない。一方で、この発展は地球温暖化に代表される環境面の悪化、政治体制、資源権益、宗教観などが複雑にからんだ国際紛争の多発、所得格差や経済成長率の低下に起因する若者の目標喪失や社会の閉塞感などの負の側面を生み出していることも事実である。このような経緯を踏まえると、21 世紀、我が国を含む先進社会で求められるのが、「物」の豊かさから「生活の質」の豊かさへと重心が移るのは確実である。建造物の安全、交通手段の安全、日常生活の安全などが保障され、すべての人が生きがいを持って、心身ともに健康な生活を送ることができる社会の実現を目指す必要があるだろう。加えて、地球規模で環境に優しく、省エネルギーに配慮した持続的発展可能な社会を実現することが重要であろう。

このような、環境に配慮した安心・安全な 21 世紀型社会の実現には、電気電子工学も新しい形へと脱皮する必要がある。高効率太陽電池や電気自動車用バッテリー、パワーデバイスなどは、本分科会で真っ先に検討すべき技術課題であろう。さらに、グリーン ICT や電子政府などのキーワードから明らかなように、ICT の果たす役割は極めて大きい。また、企業の生産性向上にも ICT を始めとする電気電子技術が重要である。日本は、環境に配慮しつつ情報化社会を開拓するリーダーとしての地位を確立しなければならない。そのためには、以下に述べる個別の技術課題を解決することがもちろん重要であるが、それに加えて専門性と広い視野とを兼ね備え、世界を相手に対等に渡り合える人材の育成と確保が急務である。さらには産官学がパートナーシップを一層強め、資金や人材を効率的に活用しつつ高度な研究開発を遂行し続けることが重要であろう。

今までの日本の強さは電機、自動車に代表される「ものづくり」である。この成功の原因は、技術的な不具合を徹底的に調べて歩留まりを向上させたこと、使い勝手や使い方に関する使用者の意見を建設的に取り上げて品質や性能の向上に生かしたことなど、日本人の真面目さ、謙虚さが大きな役割を果たして来た。これらの「ものづくり」の基盤がゆるぎ、電気電子産業が転機にさしかかっているこの時期にあっては、将来世界をイノベートする新たなシステムやサービスを見据えて、それらを実現するための電気電子技術開発に挑戦することが重要であり、その成功なくして次なる社会の発展は期待できない。システム、サービスとデバイス、材料の統合による新たな学問領域や技術領域の開拓こそ、電気

電子工学に課せられた責務である。本委員会では、21世紀型社会の実現と我が国の持続的発展、産業競争力強化に向けて、以下の緊急・重要課題を提起する。

### (1) 人材の育成・確保

我が国の総人口は2005年をピークに減少局面に入り、2015年には4人に1人が65歳以上という、かつてない少子高齢化社会へ突入しようとしている。少子高齢化に伴う労働人口の減少の問題に加え、若者の理科離れ、工学離れが深刻化しており、とりわけ、工学を支える大きな柱である電気電子工学からの若者の背離が顕著となっている。こうした状態が長期化すると、我が国が誇る「ものづくり」の基盤は早晩崩壊して国力が衰退し、これまでのように科学技術創造立国のモデルとして世界の人々から尊敬され続けることも危うくなる。若手人材の育成と確保は、特に我が国の将来を左右する緊急かつ重要な課題であり、目指すべき21世紀型社会を見据えた解決策を、スピード感を持って講じてゆく必要がある。

現在、我が国はエレクトロニクスを始めとするハイテク先進国として世界を牽引しているが、その礎は、昭和30年代から40年代にかけての高度経済成長期に築かれたものと考えられる。トランジスタの発明に始まる半導体技術の急速な発展によって技術革新が加速された昭和30年代には、我が国の大学に電子工学科が相次いで新設され、トップレベルの優秀な人材が夢と希望を持ってこの分野を目指し、結果として、20世紀後半におけるエレクトロニクスを中心とした科学・技術の飛躍的な発展を支えてきた。さらに、エレクトロニクスの中核となるデバイス・電子機器分野の発展はコンピュータや通信技術の急速な進化と普及を促し、至るところ、あらゆる場面で、それと気づかぬうちにネットワークを介して情報がやりとりされるユビキタスネットワーク社会・知識基盤社会の実現に向けて大きな役割を果たしてきた。

20世紀後半に電気電子工学分野の人材育成を意識的に強化したことが、その後の我が国の産業競争力の増強につながり、電機、自動車に代表される「ものづくり」の成功をもたらしたことは間違いない。しかし、昨今の少子高齢化や若者の電気電子工学離れによって、この分野に優秀な人材を確保することが困難になりつつある。もちろん、科学・技術の健全な発展のためには、すべての学問分野間のバランスに十分配慮する必要があることは論を待たない。しかし、21世紀型社会の構築に不可欠なICT、環境、ライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料、エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア等のすべてに電気電子工学が深く関わっていることは疑いようのない事実である。言い換えると、我が国が「ものづくり」の活力を維持し、さらに発展させる上で、今やあらゆる工学の基盤となり、総合力が必要とされる電気電子工学において、いま一度、この分野における人材育成システムを再構築することが喫緊の課題である。

工学好きな若者を育てるには、小学校、中学校などの初等教育において「ものづくり」教育を充実させることが先ず重要である。昨今は、初等教育においても知らなかったものやことを見つけ出し「知」を豊かにする教育が偏重される一方で、それまでなかったものやことを作り出す「技」が低く見られる傾向がある。このような教育姿勢を改め、

小学校2、3年の頃にモータを組み立てて電池で回す体験をさせるなど、ものを作り、完成させる面白さを実感できる教育が必要である。このような体験を通してこそ、算数・数学や理科だけでなく、技術の好きな若者に育ってゆくと考えられる。高等学校教育においては、中学生時代までは理科や数学が好きだったにもかかわらず、大学受験科目としての難しさから、物理を選択しない生徒が多いという問題がある。知を開拓し真理を探究するだけでは社会に還元できない。第一線で活躍する工学研究者が高等学校に出張講義に行き、工学技術の面白さを直接伝えるなど、多様な取り組みが必要である。

最近の電気電子工学分野は、その名称の妥当性が云々されるほどに、その裾野を広げつつ、近隣の分野とも融合しながら、新たな学問分野を創出し続けており、総合工学としての様相すら呈している。したがって、大学の4年間の教育では学生に十分な学力を付与することが難しく、修士課程、さらには博士課程の大学院教育を通して、一人前の技術者、工学者に育てる努力が行われている。特に、電気電子工学分野が21世紀型社会からの期待に高いレベルで応えていくためには、この分野のイノベーション創出を担う博士人材の育成が急務である。関連の分野と連携しながら、オリジナルな科学・技術に畏敬の念を持てるクリエイティブな博士人材を数多く輩出することが、21世紀における持続可能な社会を実現するために不可欠で、このためには博士人材の社会的処遇改善も重要な検討課題である。「労多くして益少なし」ということでは、社会が求める優秀な人材を、かつてのように電気電子分野へ呼び込むことはおぼつかない。

一方で、博士課程修了者の一部はアカデミックポストを強く希望し、多様なキャリアパスを模索しないことも事実である。博士課程学生の企業におけるインターンシップの充実など、次項で述べる産官学のパートナーシップを一層強化すべきである。大学自身としても考慮すべき課題がある。特に博士取得を目標とする学生は、指導教官の主宰する研究室を運営する上での実質的担い手として重用され、脇目もふらず自身の研究課題に没頭しがちとなる。広い視野からの把握力やリーダーシップ力の涵養は、もっぱら学生自身の持って生まれた資質や自覚的努力に依存している。研究費が競争的資金や委託プロジェクトに依存している限り、指導教員も研究成果とプロジェクト目標の達成に追われて、博士学生に対して、次世代リーダを育てるべく教育的に配慮する余裕はない。また、教育的経費は、通常、受託研究費からは支出不能である。視野を広げる機会、あるいはコミュニケーション能力を高める機会をカリキュラムに組み込むなど、博士学生教育の変革は喫緊の課題である。その上で、大学そのものの緩やかな機能分化の議論と合わせて、社会的な要請を満たすリーダーシップのある優秀な人材の育成、アジアの留学生を受け入れ研究拠点化を図るなど、大学院博士課程の新たな役割が期待される。

欧米に限らず、韓国・台湾・中国・インドなどの諸地域では、産官において高度な技術的課題に取り組むリーダの多くは、博士号取得者である。我が国の状況は大きく異なっていて、ますます急展開する学術的・技術的課題に対応するには、まずは若くて優秀な人材の確保と育成、リーダへの登用が不可欠である。また、電気電子工学分野としては、ピーク値を高める教育と平均値を上げる教育とに分けてこの問題に取り組んでいくことが重要である。さらに、未来産業イノベーションの創出や革新的最先端研究を先導

して行う上位およそ5%の広い視野を持ったリーダーシップ力のある人材の育成は、我が国の工学技術の国際競争力を維持・向上させる上で欠かせない。また、技術伝承、既存技術の改良を行う人材を育成するための平均値を上げる教育改革も必要である。さらにはそれぞれの人材のプラスの側面を積極的に評価し、一方、たとえ目標が達成できなくても再挑戦可能な、許容力のある社会構造への変革が必要である。現在、我が国では電気電子工学を専攻する人材に対する社会的地位と報酬はとて十分とは考えられない。特に博士人材に対して、企業は大学で研究者として育てられた能力をほとんど評価せず、採用後もっぱらOJTによって再教育、再評価を行っている。即戦力となる人材を提供できていない大学側の責任もさることながら、企業として競争社会の中で生き残りを計る上で不合理な戦略と言わざるを得ない。

## (2) 新価値の創造

大きく変化する世界情勢と多くのグローバルな課題を解決することに、我が国の持つ高い電気電子工学技術、ハイテク技術が大いに貢献するであろうことは多くの人が期待するところである。一方、日本の産業力という観点からすると、技術的に優れた成果が得られても、企業間の過当競争、国際標準化の遅れ、特許戦略やマーケティング戦略の不足など様々な要因により、事業として必ずしも国際競争力の源泉とならない事例も多い。このような技術力と企業力とのミスマッチを解消するためには、電気電子工学分野における新しい付加価値を創造することが重要である。直ちに解決策を見出すのは容易ではないが、例えばシステム、サービス、ビジネスなどのソフト面の議論から出発する広い視野と見識を基礎として、それを実現するデバイス、材料などのハード面の研究開発を行うなどの発想が、1つの良いモデルになると考えられる。

米国では、コンテンツやサービスを一体とした新しいビジネスモデルの下で、グーグルやアップルあるいはアマゾンなど、新興企業が急速に力を付けているのに対して、我が国の素材、部品産業など、新興国の追い上げもあって、苦しい立場に陥りがちである。また、ヨーロッパでは、地方政府が設置した研究拠点や、ユーロ政府が設定したプロジェクトを中心として、知財・人材が入り乱れて推進される共同研究開発が成功を収めつつあるのに対し、どちらかという均質で排他的な空気のある我が国では、早くから同様の取り組みを進めてきたにもかかわらず、社会的に大成功であったとの評価は聞こえがたい。一方、重電、通信機器業界などの様に、従来強みであった垂直型・すりあわせ型業態では、ファウンドリを多用する水平型・モジュール型業態の登場に苦戦を強いられ、また、例えば、折角完成させた高機能で精緻な携帯端末を中心とする高度なサービス提供はガラパゴス現象の象徴として嘲弄される。

我が国では、旧来の村型社会の要素が残されていて、それはそれで、安心・安全な社会を実現する上で非常に有利であるが、創造性に富みリーダーシップを発揮すべき人材までも、所属する組織が独自の観点で選り分け育て上げるとの方針の下、フォロワーとしての人材と一絡げに、早くから組織の中に囲い込んでしまう結果となり、新しい価値の創造を目指す上からは、不利な社会体制であると言わざるを得ない。ノーマッド的背景

を保持し、未知の人間とも適宜にうまく連携して新しい価値を作り出すことの出来る西欧社会の流動性の高さを、少なくとも創造性の高い人材には許容されるような施策、制度改革が必要である。ハイブリッド自動車や電気自動車技術、鉄道技術、ロボット技術、スマートグリッドのための制御技術、あるいは次世代通信技術、ディスプレイ技術など、我が国が保持する有力な次世代技術が、ガラパゴス化に陥ることなく世界標準としての地位を確保すべく、技術開発において更なるリーダーシップを取るべきである。

電気電子工学は、機械工学や建築・土木工学だけでなく芸術や臨床医学、農学など、およそ、ひとや生物、ものづくりに関連するあらゆる技術と深く関わっている。その基礎は、物理や数学だけでなく、あらゆる科学的知見、自然科学だけでなく人文・社会科学のもたらす知見に依っている。そしてそれら科学をさらに発展させるための技術を提供する役割を担っている。環境保全、事故や犯罪防止、良質な医療と介護など、諸課題に資する電気電子技術と他分野との学際的な研究・開発などが今後極めて重要である。そのためには、工学分野における縦断的な発展だけでなく、化学・材料分野、法政分野、医学・福祉といった医療分野などとの横断的領域における学術研究の有機的連携推進と、その支援強化が不可欠である。

### (3) 産官学パートナーシップの確立

かつての国立大学の法人化を機に、国からの競争的資金による研究や産官学の共同研究が大幅に増加したことは大変に喜ばしい。しかし、競争的資金による研究は、長くても5年以内に一定の成果を出すことを求められるため、リスクが高く、成果が得られるまでに長い年月を要する基礎的、基盤的な研究にはなじまない。一方で、産学共同研究は、比較的短期間での実用化という企業ニーズに基づく現有技術の改良研究という側面が強く、いずれにしても大学で多額の研究費のかかる基礎的、基盤的研究が行いにくくなっているという現実がある。

しかし、大学において長期戦略のない出口志向の研究だけを行っていたのでは、世界との熾烈な競争に勝てず、また世界が求める人材も育ち難い。そこでまず10-15年後の世界の潮流と日本のあるべき姿を産学官でしっかりと議論し、共有する場を構築することが重要である。その上で、融合領域技術も含めてどのような将来技術にチャレンジし、どのような人材を育てていくかを各大学で鮮明にする必要がある。有能な人材が結集し、産学官の真のコラボレーションの場として機能する研究拠点を育てることが、国際競争に勝ち抜くための鍵であり、そのためには、個々の大学や研究機関で閉じた研究拠点ではなく、研究および人材育成の観点でフレキシビリティが高く、多岐にわたる研究拠点を育む仕組みを志向した産官学のパートナーシップを確立することが重要である。

上記のように、研究開発を進める上で、産学官の連携が不可欠である。なかでも、工学研究は、本来、実社会で活用されることを目標としているものなので、大学と産業界や公的研究機関との研究連携がとりわけ重要となる。大学で生まれる新しいアイデアや萌芽的技術を、如何に社会で活用される技術に結びつけるかが様々に議論され、大学か

ら産業界への知財の流れを効率的に運ぶための試みが非常に活発である。一方、大学と公的研究機関、独法研究機関との連携のあり方は、セクターとして小さいこともあって、それほど議論されて来てはいない様に見える。ダイナミックに動く競争社会の中で、生き残りを賭けて利潤を追求する産業界とは異なり、公的研究機関は、国の施策に従って、社会基盤の整備や、豊かで安全な生活を保障するための研究開発を粛々と進める機関であって、期待される役割は、本来非常に大きい。折角、新しく生み出された知財を埋もらせないためにも、大学がイノベーションの創出に係わる具体的な仕組みの構築に取り組むことが喫緊の重要課題である。

イノベーションのシーズ創出に向けて、産学官連携の重要性を掲げ、大学から公的研究機関、さらに産業界へと、一方向に知財が流れる図がしばしば描かれている。しかし、これからの、個別化や流動化、少子・高齢化の進む社会では、この様に役割分担を単純化し固定化した線型モデルでは、不十分の感がある。知財に係る連携の重要性は今や広く認識され、流通を促進する努力が鋭意進められているが、人材に関しては、未だ問題が山積している。特に、高度な教育を受け、知財の創造者として期待される若い研究者が、活躍の場が得られず、あるいは正当な処遇を与えられず、固定的な雇用制度の中で、大学や公的研究機関の提供する、短期的な、不安定な身分のままに置かれている場合も多い。知財の創成を担う若い技術者・研究者が、適正に評価され、生き生きと仕事に取り組むことの出来る社会を実現することは、焦眉の課題である。大学や公的研究機関、さらには産業界における研究開発機関の間の人的交流を促進し、人材の流動性を高める事が、より豊かな社会を目指す上で必須課題である。すなわち、これからの産学官連携体制には、3者が互いに手を取り合って、知財だけでなく、人材の相互交流を深めつつイノベーションの達成を目指す様な、新しい形態が必要である。

大学の重要な使命は、知的再生産の過程を通して人材を育成し、社会に送り出すことであり、これからの社会で研究開発の中心を担い、リーダとなるべき人材を育てるための、より有効なシステムの構築を目指す必要がある。一方、公的研究機関では、知財の創造のみに重点を置いて人材を消費するのではなく、キャリアパスとしての価値を高める方策が是非とも必要である。さらに産業界においては、知財を創造する研究者を正當に評価し処遇すると共に、人材の流動性を阻害することのない雇用システムの確立が重要である。



### 3 推進すべき技術課題

#### (1) 制御・パワー工学関連技術

制御工学の分野においては、社会を構成する個人々々によって異なる要求を満足し、個人をその人の必要に応じて支援するパーソナルテクノロジーを開発する必要がある。特に、未来型インテリジェント輸送機器、個人生活支援ロボット、ブレイン・マシン・インタフェース、およびそれらの開発用ツールなどの研究開発は重要な課題である。また、パワー工学、電力技術分野においては、世界規模での環境・エネルギー問題を解決するために、安全・安心支援を実現する高セキュリティかつ高性能で安定したエネルギー供給技術の開発が必要である。そのためには、持続可能な社会を実現するための全世界的な電力エネルギーの使用効率向上による省エネルギー化を実現する技術革新、国内での省電力かつ高効率な新しいインテリジェントな社会基盤の構築、および個々のレベルでのエネルギー管理とネットワーク化による電力エネルギーのパーソナル化を実現するグリーンテクノロジーデバイス開発といった、多層的な課題が挙げられる。そのためのロードマップを作成し、技術目標達成のための道筋を提示する必要がある。また、これらの課題を更に具体化する上で、各技術のマイルストーンを描き、広く共有することが重要である。この項では、①スマートグリッドの実現に向け注目を集めている電力技術、②人が機械を使いこなす上でますます重要となる制御技術、および、さらに高度な遠隔制御、双方向制御を実現する③バイラテラル制御に注目しそれらの課題を述べる。

#### ① 電力技術

環境・エネルギー問題を解決するために、電力工学としては安心・安全のための支援を実現する高信頼かつ安全、高性能で安定したエネルギー供給技術を開発する必要があり、以下のような多層的な、すなわち、基幹電力網を担う上位レイヤ、都市圏規模の電力網を支える中位レイヤ、工場やオフィス、各家庭へと配電する下位レイヤの、各階梯に即した開発研究を推進する必要がある。

上位レイヤ：課題としては、持続可能な社会を実現するために全世界的な電力エネルギーの使用効率向上による省エネルギー化を目指さなければならないことが挙げられる。そのためには、環日本海エネルギーグループや環太平洋エネルギーグループといった電力エネルギーの国際的な流通システムを設けることにより（下図参照）、グローバルな電力使用の平滑化とエネルギー使用効率の上昇および超高電圧や直流送電などの運用による系統安定度の高いシステムの構築が可能となるため、自由度、フレキシビリティの高い低損失電力エネルギー運用が期待できる（超伝導送電技術を含む次世代FACTS）。さらに、デマンド・サプライ管理による電力ピークカット、ピークシフトの実現も期待できる。さらに、グリーンエネルギー使用の観点から、超巨大グリッドと分散型電源のシステム協調が今後の技術課題となろう。

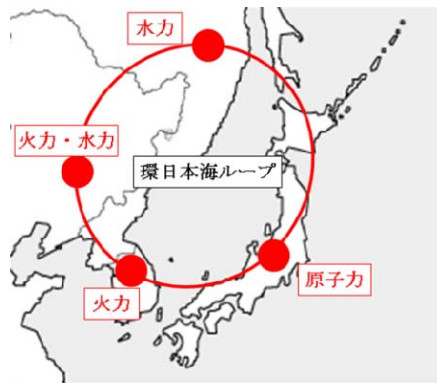


図1 環日本海エネルギーリングの概念図

中位レイヤ：国内での省電力化、電力高効率化を目指した新しいインテリジェントな社会基盤の構築を推進するという課題が挙げられる。そのための技術課題としては、超高速スイッチング技術や超高周波ロスレススイッチング技術、高性能な電力貯蔵システム、突発的な電力需要に対応した超高速電源および超高性能かつ超高効率な電機エネルギー変換技術の開発などが挙げられる。さらには、電気機器・通信機器・情報機器の電源共通化によるスマートプラグを用いたインテリジェント電源など、次世代スマートグリッドの基礎技術開発が今後の課題である。

下位レイヤ：電力供給の末端である工場、オフィス、家庭などの下位レイヤにおいては、今後の電力需要の増加に対応して、電化機器の省エネルギー化とともに、個々のレベルでのエネルギー管理とネットワーク化による電力エネルギーのパーソナル化が必要で、それを実現するグリーンテクノロジーデバイス開発が課題である。特に、エネルギーハーヴェストシステムや超高効率局所発電・貯蔵デバイス、低密度エネルギー集積電池、ハイブリッド自動車のプラグイン化および非常時電源化、超高速充電システム（電池および充電方式）などがある。

## ② 制御技術

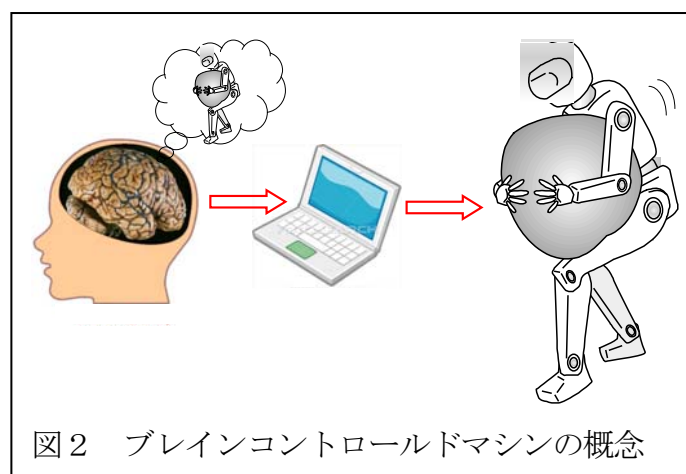
### ア 電気自動車

電気自動車は構成要素が簡素な(1)4輪操舵・4輪駆動・4輪制動の機能をもつホイールモータ、(2)コンピュータ、(3)電池、(4)センサ類、(5)要素を結合するネットワークに収斂すると思われる。未来型電気自動車の特徴の1つは、利用環境・目的・利用者によっていろいろな形態のものが具現化可能である点である。

構成要素を有機的に結合することにより、走行性能および乗員の安全性・快適性を如何に確保するかという統合デザインは、従来の自動車工学とは異なる工学分野としてシステム制御工学に近い分野として発展することになると思われる。特に、全体のコンセプトデザイン、運動制御、人間との関わりのためのインタラクションデザインが重要になるであろう。少子高齢化社会での移動手段としての未来自動車

は、健常者のみでなく高齢者や障害を持つ運転者をも想定し、より安全な移動とより快適な空間（ロボットカー、テラーメイドカー）を提供することが重要になる。電気自動車は、ハイブリッド自動車から、家庭用電源による充電器またはコンビニエンスストアなどの急速充電器を用いて電力を供給するプラグインハイブリッド自動車、さらにはモータのみで駆動する電気自動車へと形態を移してゆく。そこで、高効率、安全、快適を実現するために必要な制御は、エンジン制御とモータ制御、限られた電池のパワーを有効に使うためのパワー制御とエネルギー制御、さらにはインフラとの情報交換を用いた運転計画が考えられる。それぞれの制御の課題を以下に示す。エンジン制御とモータ制御においては、パワートレインを構成するモータの小形化・高トルク化・高効率化とモータ制御のさらなる高速応答性が課題である。高性能を出すために限界で設計された非線形性をもつモータを、限られた直流電圧を限界まで利用して制御する方法の開発が課題である。カーエアコンなどにおいては、同期モータの位置・速度センサレス制御もコスト低減のために解決すべき課題である。エンジン制御の高効率化では、電動式バルブタイミング制御などが既に実用化されている。パワー制御においては、高効率と安全を達成するために電池の残量を見ながらの、100 個程度の電子制御ユニットとモータのパワー制御が課題である。エネルギー制御においては、電気自動車走行のみでは通勤ができない現状の電池を考えて、家庭の充電器、コンビニなどの急速充電器、自動車の屋根につける太陽電池、廃熱利用発電などを有機的に組み合わせたエネルギー制御が課題である。さらに運転計画では、高度道路交通システム（ITS）と連携して、自動車向け道路情報提供システムや自らの走行履歴から将来の交通状況を予測し、電池の充電・放電を計画する方法などが課題である。パワー制御とエネルギー制御をするシステムをまとめてエネルギーマネジメントシステム（EMS）と呼んでいる。

## イ ブレインマシン・インタフェース、ブレインコントロールドマシン



操作する人の生理状態や心理状態を非接触・オンラインで推定できる計測技術、言語・行動や脳波からその人の意思を推定するヒューマンモデリング技術は、誰に

でも容易にシステム操作を可能にする重要な技術である。具体的には、人が頭の中でイメージしたときに現れる脳波を取得し、コンピュータで解析した結果をロボットに指令する方法である。この方法を実現する上で二つの技術的課題がある。

一つは、脳波を非侵襲でかつ正確に取り出す計測器上の課題で、もう一つは取得された信号の意味解釈に関する信号処理上の課題である。ただしこのような研究は、人格の根源に係るところが大きく、実施する上では極めて慎重な配慮が必要となる。

## ウ ロボット

人の生活を支える感覚器として視覚、触覚、聴覚、味覚、臭覚がある。このうち視覚、触覚は行動生成を行う上で特に重要である。今日のロボットで最も遅れている感覚器は触覚である。今後ロボットと人が物理的に係わりを持つ機会が増えることを考えると、実用性の高い触覚センサの開発は避けて通ることはできない。

また、現代ではあらゆる場所で意識することもなく接続されるユビキタスなネットワーク、基幹ネットワークの大容量化によって、いつでもどこでも即座に情報を入手し、対応することができるようになってきている。このようなネットワークに接続された計測用センサと信号を機械的な動作に変換するアクチュエータの両機能を備えた超小型機器（ロボット）の開発が重要である。これらは、人体情報のモニタリングやヘルスケア、医療・福祉機器のモニタと制御、家電機器・自動車などの常時監視モニタとメンテナンスなどに使われることになる。基幹となる技術は、センサ・アクチュエータの最適配置、データの融合・統合によるデータ抽出、対故障性のためのシステム再構成（柔軟性）などであろう。

## エ テーラーメイド工学

今日では、豊かな社会ほど構成する個人の個性の尊重が重要視されるようになってきており、我が国でも個性的な生き方や自分らしさの追求が基本的な人権として認知されるようになってきている。また将来の少子高齢化に向け、各個人の身体性に基づいた個人支援技術を開発することが急務であり、安心・安全支援の実現においても身体性を支援する電気電子工学技術の開発が不可欠である。しかし、従来のモデルベース設計論に基づく工学技術そのままでは各個人の特徴や個性が強く表れる個人支援技術に対して適用が困難である。個人が個性を発揮するためには、個人の行為そのものを支援する必要がある。つまり、今後は社会を構成する各個人に対し、私的で身近な技術を直接提供することでその行為を支援していかなければならない。このような背景から広く人間を支援するため、個人の知覚や行為に基づく新しいテーラーメイド工学技術の開発研究が必要である。

そのためには、電気・電子・通信あるいは機械といった工学分野における縦断的な発展だけでなく、医学・福祉といった医療分野などとの横断的領域における連携が不可欠であり、医工連携による学術研究の推進とその支援強化などが今後の重要な課題である。

## オ 自動化、オートメーション（従来産業技術）との整合

従来の自動化、オートメーションは、主に、同一製品の大量生産を目的として進められてきた。今後は大量消費の時代から、省エネルギー、省力化だけでなく、個人の趣向に応じたテイラーメイドプロダクションも取り入れられる。特に、システムのインターフェースは個人の嗜好に依存するので、従来のセル生産以上のますますテイラーメイドプロダクションが必要になる。また、生産に従事する作業者の物理的・精神的な負荷軽減が必要であり、改善だけでなく労働意欲を増進させるシステムが必要で重要である。また、身障者を始め社会的弱者がますます社会に入って活躍できる場を提供できるシステムが必要である。

## ③ バイラテラルコントロール

### ア ヒューマンインタフェース

ネットワークのユビキタス化が進んできている。即時性の向上や大容量化も進んできている。このようなネットワーク技術の背景の下、人体情報のモニタリングやヘルスケア、医療・福祉機器のモニタと制御、家電機器・自動車などのモニタとメンテナンスなど、ネットワークを介したリアルタイム遠隔制御やネットワークセンサを実現するため、センサ・アクチュエータの最適配置、データの融合・統合によるデータ抽出、対故障性のためのシステム再構成（柔軟性）など、センサとアクチュエータの両機能を備えた超小型インターフェース技術の開発が重要である。

### イ 五感コミュニケーション

例えば少子高齢化社会を背景として、町中の移動手段としての未来自動車を例にとると、高齢者や障害を持った人々が利用者となる場合をも想定し、より安全な移動とより快適な空間を提供することが重要になる。冗長センサや冗長アクチュエータによる装置や機器の制御技術は高度な安全性確保に不可欠である。また、操作する利用者の生理状態や心理状態を非接触・オンラインで推定できる計測技術、言語・行動（将来は脳計測）から操作者の意思を推定、それをフィードバックする五感コミュニケーションとヒューマンモデリング技術はより快適な使用状況を実現するために極めて重要な技術である。

高齢者の家庭内生活支援や介護を目標とした場合、未来型自動車と生活支援ロボットとの融合が望まれる。生活支援ロボットは、上述の未来自動車と同じ移動手段としての機能と形態（大きさは異なる）を有し、さらに、腕や指のようなロボット機能を備え、高齢者や介護者の意志に基づいて行動することが求められる。ここでも、上述で述べた制御技術、計測技術、ヒューマンモデリング技術が五感コミュニケーション技術にも不可欠である。

## (2) デバイス・電子機器工学関連技術

電力工学や情報通信工学の構造的変革を可能する新デバイスの実現が重要な課題である。また、我が国が世界を牽引する分野であった液晶ディスプレイなどのエレクトロニクス機器における価格の低下と新興国参入に伴う国際競争の激化、それに対応する家電（ホームエレクトロニクス）などの新たな展開、インテルや世界規模の半導体製造工場などの国際的専門企業による寡占化と国際標準化などに対応しうるビジネスモデルの再構築などが必要である。

### ① デバイス基盤技術

近年のデバイス・電子機器の発展に、マイクロ・ナノテクノロジーの果たした役割は極めて大きい。マイクロ・ナノテクノロジーは、光・電子デバイスの高集積化、高性能化はもとより、センサの小型化、アクチュエータの高性能化、制御機器の小型化・効率化に大きく寄与してきた。それにより、従来は不可能であった機能の実現やシステムの構成が可能になり、実社会で実際に利用できるようになってきた。機器やシステムの小型化により、持ち運びも容易になり、新しい利用方法やビジネスモデルが考えられている。マイクロ・ナノテクノロジーは、今後もデバイス・電子機器を高性能化するための有力な基盤技術と考えられ、材料研究者との共同研究など、研究体制の充実が重要と言える。

これらに加えて、バイオ技術との融合も将来のデバイス・電子機器工学において重要になると予想される。従来のドライなプロセス技術に対して、バイオセンサやヘルスケアチップへの応用では、生体との適合性の高い、ウエットな、プロセスを適切に取り込むことが極めて重要であり、ウエットエレクトロニクスの発展が望まれる。

### ② 高機能集積回路技術

これまでの半世紀にわたる集積回路の高性能化は、主にデバイスの微細化とそれに伴う集積度の向上により達成されてきた。しかし、この微細化は原子レベルに近づきつつあり、その結果本来のデバイス特性に加えて、リーク（漏れ）電流に起因する極端な消費電力の増大、デバイス特性のばらつきによるシステムエラーの増大など深刻な問題に直面しつつある。加えて、これらの微細デバイスを駆使したシステムレベルの超大規模回路を設計する手法・検証自体も不十分になりつつある。百億～千億個のデバイスを効率よく集積化し、高機能回路を構築するためのアーキテクチャに関しても見通しが立っていない状況である。今後重要となるのは、エラーを許容する演算システムと完全にエラーフリーのシステムを明確に分離し、これらが共存・協調する新たな演算パラダイムの創出である。

エラーフリーシステムについては、従来のデジタルシステムを高信頼度で実現するための新たな材料やプロセス技術の開発が必須である。さらに、グリーン ICT の中心である極低消費電力集積回路の開発を加速することはもとより、特定の機能を持ったデバイスや機能ブロックが自己組織的に集合して新しい LSI や超 LSI を構成する自

己組織化集積回路、自己検証機能や自己修復機能の搭載によって歩留まりや信頼性を上げる LSI 回路などの新概念の創出が重要である。また、今後の LSI 設計の複雑化や設計工数の爆発的な増加による設計危機に対処するために、動的再構成（ダイナミック・コンフィギュレーション）機能を使って自立的にハード機能ブロックを生成するような自立型 LSI の開発や、ハード/ソフト協調 IP（インターネット接続手順）、ハード/ソフト協調コンパイラ（機械語変換器）など、新しいハード/ソフト協調型設計手法の導入も重要になる。

エラーを許容するシステムについては、新機能メモリ、電子スピンを利用するスピントロニクスデバイス、強誘電体酸化物等の機能材料に加え、量子効果デバイスの持つ特異な非線形電流電圧特性など、材料物性・物理現象を直接演算処理に用いる全く新たなハードウェア演算パラダイムの創出が重要である。このための新たなシステムアーキテクチャの創生を伴う必要がある。これらの新規技術を融合し、多種・多様な情報の中から即座に状況判断・行動決定のできる知能 VLSI システムといった新概念に基づく集積回路の研究開発が重要である。従来のデジタルコンピュータと協調し、互いの機能を補完することにより人間社会とサーバ世界をシームレスに結ぶ要の技術となる。

### ③ フォトニックデバイス技術

2030 年には今の 1000 倍になるとも予測されている情報通信量の増加に対応するためには、高速、大容量、柔軟、低消費電力ネットワークを実現する必要がある。それには、現在の IP ネットワークをさらに効率化する研究開発と、新しい構成のネットワークの研究開発を並行して進め、これらを総合的に最適化する検討を行う必要がある。ネットワーク(網)はノード(結節点)とノードを結ぶリンク(線路)から成り立っているが、リンク技術としては、大容量伝送を可能にする新型光ファイバと、これまでの時間多重・波長多重、空間多重の一層の進展に加えて、位相・振幅・偏波面多重 / モード多重などの新たな多重化方式の研究開発が重要である。さらに、ノードにおいては、光信号処理デバイス・回路、超広帯域光増幅器、光バッファメモリ、LSI と光集積回路とを融合した高機能回路、周波数利用効率の増大のための多値変復調光素子などのデバイス技術を確立する必要がある。また、側路からの信号を主経路に加えたり逆に取り出したりするアドドロップ、線路を切り替えるスイッチング、接続経路を設定するルーティングなどを中心にしつつ、高速無線なども含めた総合的なネットワークシステムの研究開発が重要である。

光集積回路分野では、InP（インジウム燐）モノリシック（単一基板）集積技術、PLC（光平面回路）ハイブリッド集積技術、Si（シリコン）フォトニクス技術をそれぞれ向上させ、適材適所で用いるとともに、これらのプレーナ集積光学型のみならず、ファイバ光学型や空間並列光学型の光回路技術、さらにはマイクロマシン（MEMS）技術、ナノマシン（NEMS）技術をも取り込む広義のハイブリッド（混成基板）集積や光電子混載実装技術の開発が特に重要である。化合物半導体、Si、石英、ポリマーなどの材料とその複合材料の開拓、高密度波長多重・周波数多重用の光源・受光デバイスなどの並列光



集積デバイス、100Gbpsイーサネット用のモノリシック／ハイブリッド型光電子集積デバイス、超高速・大容量・高スループット（時間当たり処理量）、かつ低消費電力な光集積機能素子など、材料から高機能デバイスまでの研究開発に取り組む必要がある。

超高速光通信の実現に向けては、小型の超短パルス光源、100 GHz 以上で動作する光変調器、帯域 300 GHz 以上の超広帯域光検出器の開発が求められる。特に数十 GHz 帯で動作する小型のサブピコ秒レーザならびに低消費電力の全光多重分離回路の実現に注力すべきである。

情報量の有効利用、あるいは帯域の削減・省電力化を目指す超多値光伝送に向けては、デジタル信号処理とコヒーレント光源とを併用して、無線伝送に匹敵する 10 bit/s/Hz 程度の高い周波数利用効率を実現することが重要である。従って、A/D（アナログ／デジタル）および D/A（デジタル／アナログ）コンバータ（変換器）などの電子デバイス的高速化もブロードバンド光ネットワーク技術の推進には不可欠である。加えて多値化に関しては、レベル間の振幅差が雑音に埋もれる限界程度にまで多重化できるように、FEC（誤り訂正符号 LSI 技術）の研究が重要な位置づけになる。また、コヒーレント（干渉性が高く純粋な）光源に関しては、光通信の性能を伝送路の持つ情報伝達容量の限界であるシャノン限界まで引き出すための線幅の狭い周波数安定化レーザの研究開発が重要である。

#### ④ エネルギーエレクトロニクス技術

21 世紀に入って環境・エネルギー問題が世界の最重要課題の一つになり、創エネルギー、省エネルギーの観点から電気電子工学への期待が高まっている。すなわち、高効率太陽電池や燃料電池の開発、高効率なパワーエレクトロニクス素子の開発、高効率で安価な照明用発光ダイオードの開発などを通して、低炭素社会へと移行することが期待されている。自動車についても、従来の内燃機関駆動に代わって、近い将来に環境負荷の小さな電気自動車に置き換わることが予想されており、そのため、大電力化、高耐圧化とともに、高温高湿などの厳しい環境に耐えるパワーエレクトロニクス素子の開発が強く求められている。さらに、クリーンエネルギー源としての太陽電池、風力発電などの制御系にも性能の高いパワーエレクトロニクス素子が不可欠である。

このような環境重視、省エネルギー社会の実現に向けて、Si パワーデバイスの一層の高性能化は不可欠であるが、Si 素子の作製技術は既に高度なレベルにまで達しており、その性能は材料物性で決まる限界値に近づいている。そのため、Si 素子の構造的工夫だけで性能向上を図ることは困難であり、新たな材料を用いたパワーエレクトロニクス素子の開発が必須である。その第一の候補は窒化物半導体であり、現在、発光ダイオード、レーザダイオードなど発光素子には応用が進んでいるもののパワーエレクトロニクス素子への応用については今後の課題であり、今後大きな資金と人材の投入が求められる分野である。さらに、炭化珪素 (SiC) やダイヤモンドなどの高融点材料も今後のパワーエレクトロニクス素子への応用が期待されており、これ等の材料が開発されれば、更なる耐圧性能の向上が期待できる。また、これらのデバイス技術に



加え、回路レベルでの大規模エネルギーマネジメントシステムの構築が急務である。

### ⑤ ワイヤレスデバイス技術

携帯電話や無線 LAN などのワイヤレス通信機器の普及とともに、それらに使用するワイヤレスデバイスの高性能化に対する要求が極めて強くなっている。現在のワイヤレス機器において主に使用される数 GHz 帯の周波数は、従来は GaAs (ガリウム砒素) や InP などの化合物半導体デバイスでしか対応できなかったが、シリコン微細加工技術の発展に伴い、この周波数帯においても汎用な半導体デバイスの形態である CMOS デバイスが実用化された。さらに、最先端 CMOS デバイス技術を利用すると、60~90 GHz 帯のミリ波領域で動作するデバイス・回路の実現も可能になってきた。このようにワイヤレスデバイスを CMOS 回路で実現すると、低コスト大量生産が可能となるため産業的に極めて大きな意味を持つ。

ワイヤレス応用 CMOS 回路では、アナログ、高周波 (RF) 回路技術を必要とするため、能動素子の微細化だけで動作周波数を向上させることはできない。インダクタ (誘導素子) や容量素子などの受動素子を利用する従来型の回路アーキテクチャでは、受動素子の特性向上や小面積化技術、可変技術が不可欠である。また、高機能なスイッチやインダクタ素子を実現するための MEMS 技術、異種機能デバイスの集積化技術、デジタル信号処理回路との混載のための実装レベルやウエハレベルでの三次元積層技術などが重要である。さらに、将来的には振幅方向の信号処理を時間軸方向の信号処理に変えて、インダクタや容量の使用を極力低減するデジタルリッチ回路、デジタルアシスト回路を開発する必要がある。

送信機用の高出力・高周波デバイスとしては、広い禁制帯幅を持つ窒化ガリウム (GaN) やシリコンカーバイド (SiC) 系の化合物半導体デバイスが重要であり、今後とも材料、プロセス、回路にわたる技術開発が不可欠である。さらに、LSI チップ間のデータ伝送 (チップ間通信)、LSI チップテストの際の非接触テスト技術 (ワイヤレス・プローブ技術)、データだけではなくエネルギーを伝えるワイヤレス・エネルギー伝送などの近距離間的高速、高信頼、大電力通信技術の開発、ワイヤレス技術分野に特有な異種機能集積のための設計環境の整備などが今後の重要課題である。

### ⑥ センシング技術

安心・安全な社会や健康な暮らしを実現するためのセンシング技術、制御・アクチュエーション技術、ロボット技術などが重要である。すなわち、ICT の中核となる「情報を送受してそれを判断する通信システム/情報処理システム」に対する、情報の「入力手段」および判断結果の「出力手段」の拡充が重要である。これら技術によって、21 世紀社会における ICT 全体の有用性を益々高めることが可能となる。

毎日の人の健康状態を捉える新たなセンシング技術、特に人に負担を掛けない健康センシングデバイスや機器の開発が重要である。フォトニクス、MEMS、半導体等、電子的な現象を駆使して新たな機能を備えたセンシング技術の開発が可能であると期待

できる。さらに、バイオテクノロジーとロボット技術を融合して、脳からの信号で義足や義手を制御する技術も開拓され始めており、今後強力に推進してゆくべき技術領域である。人工網膜や人工聴覚等の人の五感を代替するセンシングデバイスの開発や、これらセンサを埋め込んで視覚や聴覚を回復するデバイス埋め込み技術も必要である。また、学習機能付きセンサや通信機能つきセンサなど、集積回路技術とセンサ技術の融合、さらにはこれら機能性センサの通信ネットワークとの融合技術の開拓により、「生活の質」を向上させるための新たな技術領域が拓かれる。

センシングの対象は「人」のみではない。持続的社会的実現、省エネ社会の実現、安全・安心社会の実現のためには、様々な社会インフラ等の状況を捉える新たなセンシング技術の開発も、また重要である。橋梁や橋脚、高速道路網、鉄道網、ビル、港湾等の社会インフラや、航空機、船舶、列車等の輸送手段等に関して、その健全性を診断する「構造物ヘルスマonitoring」の研究が各分野で盛んである。この新しい技術領域を確立するためには、分布型センシング、多点型センシング、無給電センサノード、省電力センサネットワークなど、フォトリソ、MEMS、半導体等のセンシング技術と、集積回路技術、ネットワーク技術との融合技術領域を拡充することが重要である。「使い捨て」から「メンテナンス重視」へと舵を切った 21 世紀社会では、社会インフラをヘルスマonitoringする技術への期待が高まっている。

マン・マシンインターフェース/センシング技術の拡充とその ICT 領域内での活用は、21 世紀社会における生活の質の向上に重要な役割を果たすものと期待される。

### (3) 通信・電子システム関連技術

現代社会が大きく依存する通信・ネットワーク社会の変革と国際化対応および安全な通信インフラの確保のための技術の確立が重要な課題である。量子情報技術などに加え、人間の脳に近い認識弁別能力の開発なども大きな課題となる。さらに、ソフトウェア分野における寡占化や国際競争への対応なども必要である。

#### ① 情報通信システム技術

##### ア 新世代ネットワーク

我が国は各家庭にまで直接光ファイバを敷設する FTTH によるインターネットのブロードバンド化が進展し、それらを世界で最も低額料金で享受できる進んだ ICT 環境が整い、また携帯によるインターネットの利用も急速な拡大を見せており、社会生活や経済活動がインターネットサービスに依存する度合いが格段に増大し、社会インフラとしての役割を果たしつつある。また従来の電話ネットワークを最新の IP ネットワーク技術で更改する次世代ネットワーク技術、NGN、が 2008 年 3 月にスタートし、新旧 2 つの IP ネットワークが共存する時代が始まっている（図 3）。それにしたがってインターネットのセキュリティの脆弱性やトラフィック（伝送路上情報量）急増に対応して複雑化するネットワークアーキテクチャや制御機構を抜本的に見直し、2020 年代以降の社会要求に応える新しいネットワーク技術として新世

代ネットワーク（NWGN: New Generation Network、欧米ではFI: Future Internet と呼ばれる）の研究が米・欧・韓国で一斉にスタートしており、日本においても国家的重要なプロジェクトとして NICT が中心となり、産官学連携で研究が進められている。新世代ネットワークに要求される社会からの要求条件、それを解決する技術課題、ネットワークレイヤごとにアーキテクチャを決める設計原理（図4）、などが研究されており、フォトニックネットワーク、ワイヤレス/モバイルネットワーク、センサネットワーク、などの物理レイヤ（アンダレイネットワーク）、その上に構成されるネットワークレイヤとしては、経路を切り替えて設定するパス網と、伝達される情報パケットを切り替えるパケット網とを一体化するパス・パケット統合、ノードのIDと位置情報を分離するID/Locator 分離、実際の機械的結線状態から離れてネットワークを仮想化し、さらにその様なネットワークを多重化するオーバーレイネットワーク、それらを制御するクロスレイヤネットワークコントロールなど、すべての要素、エレメントに、ついて研究が進められている。それらに関する新しいアイデアの有効性を実証するネットワークテストベッドの構築が必須である。一方、現在のインターネットを利用するコンピュータシステムであるサーバ・クライアント方式から、今後は世界に分散するサーバ群を活用するクラウドコンピューティング方式への転換が想定され、2020年代にはコンピュータシステムとそれを接続するネットワークがいずれもパラダイムシフトする可能性を有している（図5）。これらを目標にした研究開発がグローバルな競争と協調の中で推進されると考えられ、ここで日本発の技術が新ICTパラダイムに組み入れられることが日本のICT産業のサバイブに必須であり、オールジャパンとしての研究開発の取り組みが必要である。

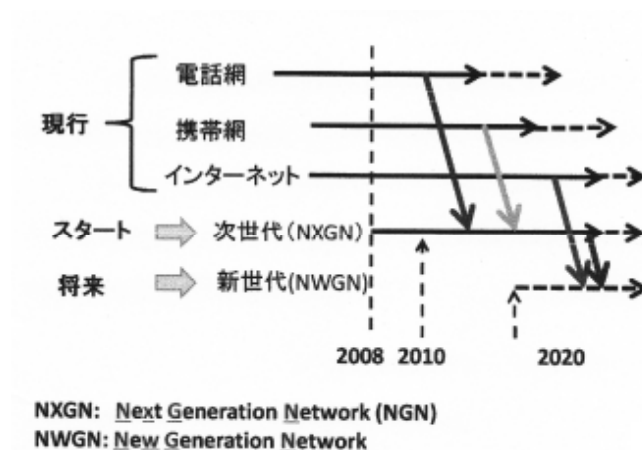


図3 ネットワーク変遷のシナリオ

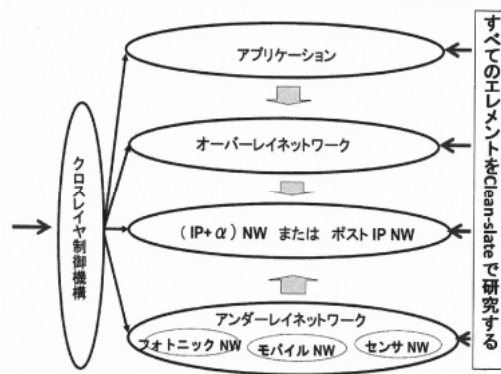


図4 新世代ネットワークアーキテクチャと要素技術

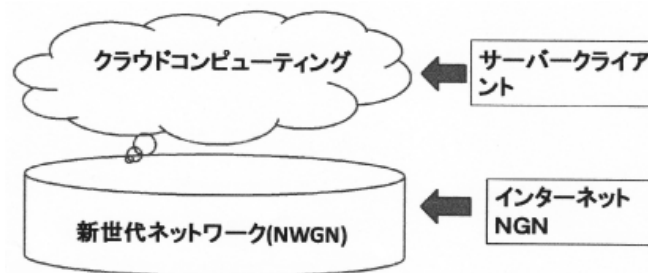


図5 2020年代の新しいICTパラダイム

## イ 光通信システム

### (ア) 光インフラの「飛躍的な高度化」の重要性とその指針

我が国の幹線系光通信インフラは、過去20年間で3桁の大容量化(1987年:1.6 Gbit/s、2007年:1.6 Tbit/s)を達成している。そして現在、国内での情報のやり取りは1秒間に1テラビットを越え、未曾有の景気低迷にもかかわらず、年率約40%の割合で増えている。この伸び率で見積もると、20年後には1000倍の容量の光通信インフラを維持する必要がある。即ち、NGNやその先のNWGNなどの新世代ネットワークが普及する今後20年間には、超高精細動画像や3次元画像を含む超臨場感通信などの普及に伴いペタビットの時代を迎えることとなり、それに対応する低消費電力のペタビット光インフラの構築が重要な課題である。

しかし、光増幅器の帯域、光ファイバへの入力光パワー等の観点から見ると、一本の光ファイバで伝送できる容量は急速に限界に近づきつつある。特にファイバヒューズと呼ばれる光ファイバコア部の溶融(熱損傷)は伝送光電力1~2W程度で発生するため、WDMあるいはラマン効果を用いたラマン増幅の励起光パワーをあまり増大することができない。また、日本と海外を結ぶ光海底ケーブルシステムも、給電の電力制限あるいはケーブル構造から、ケーブルあたりの伝送容量は限界を迎えている。従って、我が国の通信インフラである陸上や海底系の光ファイバ伝送路、光伝送やノード技術の「飛躍的な高度化」が今後の日本の情報通信の発展にとって極めて重要な課題である。

以上の背景を受けて、我が国が取り組むべき重要な課題としては、次の3つの

項目、①ファイバビュース、1本のファイバに複数のコアを埋め込んだマルチコアあるいはコアを太く、あるいは屈折率を大きくして複数のモードを伝送するマルチモードファイバなどによる伝送容量の飛躍的増大など、光ファイバの限界を打ち破る技術、②光の位相や振幅を多段階に変調する多値変調を使うコヒーレント伝送による周波数利用効率の増大、③低消費電力大容量海底光ケーブル技術の実現が挙げられる。

この①～③において、ペタ (Peta : 10 の 15 乗) ビット通信を遅滞なく実現していくためには“3つのMの技術 (3M技術)”が重要である。先ず1つめのMは、マルチコア (Multi-core) などの SDM (Space Division Multiplexing: 空間分割多重) の新規光ファイバ伝送路の実現である。二つ目は、MDM (Mode Division Multiplexing: モード分割多重) が挙げられる。最近、無線の分野ではMIMO すなわち多入力多出力方式により伝達情報量の増大を計っており、このような技術をマルチモード (Multi-mode) あるいはモード多重の立場から応用していく研究も重要である。さらに3つ目のMとして、無線伝送に匹敵するような高い周波数利用効率を有する多値変調方式 (Multi-level modulation format) 伝送方式やそれに関連する新たな伝送・処理技術やノードアーキテクチャが挙げられる。また、革新的な海底系技術として、「増幅帯域、ファイバ内入力光パワー、消費電力制限などによる伝送処理容量の壁を突き破る」技術が重要である。

この提言の重要性は日本だけのものではなく、本年3月開催の OFC2009 では “The capacity crunch challenge” と題してランプセッションが開催され、今年の秋の ECOC2009 においては二人の研究者がプレナリー講演で Exaflood (Exa : 10 の 18 乗 bit の情報の流れ) から Zetta bit (10 の 21 乗 bit) までも考える必要性を述べようとしている。これらのことは、まさしく我が国において高まりつつある次世代光インフラの重要性を欧米も強く感じており、世の中の大きな潮流として考える必要があることを示している。

## (イ) 具体的な研究開発技術

前節で述べた3つの技術①新規ファイバ伝送路技術、②多重化伝送技術、光ノード技術、③光海底ケーブルシステム技術についてももう少し詳細に述べる。

### a 新規ファイバ伝送路技術

毎秒ペタビットをはるかに超える情報量を伝送できる新規光ファイバ伝送路及びハイパワー伝送に向けた光コネクタ技術、融着技術、ケーブル化技術が重要である。新規光ファイバとしては、SDM (空間分割多重)、MDM (モード分割多重) を可能にする耐パワー性に優れたマルチコアファイバやマルチモードファイバ並びに屈折率導波型フォトニック結晶ファイバ (PCF) や空気コアフォトニックバンドギャップファイバ (PBGF) などが挙げられよう。また、ファイバビュースのメカニズムの解明・解析や伝達停止技術・遠隔検知技術、光ファイバのハイパワー耐性向上技術やハイパワー光通信システムの安全性について検討

する必要がある。

#### **b 多重化伝送技術、光ノード技術**

TDM（時分割多重）、WDM（波長分割多重）の他に「空間モードや空間コヒーレンス」も活用した SDM（空間分割多重）、MDM（モード分割多重）などの新たな多重化伝送技術・処理技術やノードアーキテクチャについて検討が重要である。多重化伝送技術としては、現状技術に比べて格段に高い周波数利用効率を有する多値変調技術（multi-level modulation format）に加え、前記、マルチコアファイバやマルチモードファイバを用いた SDM/MDM 伝送技術や MIMO 処理技術並びにそれらを実現する合分波技術、マルチコア光増幅技術、光 3R（識別再生）などの光信号処理技術が重要である。加えて、オール光を駆使した OTDM 方式による 320 Gbit/s～1.28 Tbit/s/チャンネルのような超高速光伝送・ノード信号処理技術も重要な研究課題である。さらには、光ノード技術として、新たにエクサビット（Exa bit/s=E bit/s）級の階層化光ノードアーキテクチャ、コア間空間スイッチングを可能とする精緻な空間スイッチ技術を検討することも重要であろう。

#### **c 光海底ケーブルシステム技術**

現在、Ebit/s・km（100 Gbit/s/ファイバ×10,000 km：ケーブル当たり P bit/s 以上）を目指し、海底系伝送システムの研究開発ターゲット並びに研究開発が検討されている。海底光通信には低消費電力が極めて重要であり、光デバイス・各種サブシステムの高効率化が重要な課題となる。今後、送受信技術（変復調技術、各種信号処理技術）、光伝送路技術（極低損失・低非線形光ファイバ、低雑音光増幅器）、ケーブル化技術（高耐圧化技術、多芯化技術、電圧降下低減技術）、中継器技術（超小型化、低消費電力化、耐圧向上技術）、海底ケーブル敷設技術（太径ケーブル、大型中継器筐体の敷設技術、ケーブル敷設技術）が重要な研究課題である。

### **ウ 無線通信システム**

- (ア) アクセス系における無線技術
- (イ) 周波数資源の有効利用
- (ウ) 光無線、テラヘルツ無線技術

### **エ 量子情報、量子通信**

- (ア) 量子暗号鍵配布
- (イ) 量子通信技術

## **② 電子システム技術**

現代の情報通信化社会を根幹で支えるスーパーコンピュータ、サーバ、ストレージ、パソコン等の電子システム技術であるが、性能の指数関数的増大に伴う電力消費の増

大が、地球環境への大きな脅威となっている。たとえば、サーバだけで、電子システム機器電力消費全体の約50%を占めるに至っている。またサイバー攻撃、ハードウェア自身へのサイドアタックによる秘密情報漏洩等に対するシステムの頑健性確立には、未だ決め手となる技術はない。さらに電子システム高性能化は、主として半導体デバイスの極限微細化で達成されてきたため、原子スケールにまで微細化された素子における特性の統計的ばらつき、長期信頼性の劣化で、システム全体の信頼性が深刻な危険にさらされている。これらの問題を解決するには、従来とは全く異なった発想の革新的アルゴリズム、システムアーキテクチャに加え、これらを具現化する電子デバイス・電子システム技術を融合的・統合的に開発することが必須である。従来のフォン・ノイマン型アーキテクチャの更なる発展に加え、生体情報処理や脳の演算原理をハードウェアに直接埋め込んだ新たなアーキテクチャ・演算原理の研究開発を、異分野を横断した体制で強力に推進することが極めて重要である。また、このようなICTを実現する上でのみならず、我々の一般生活に於いても、今後、数多くの電子デバイスが様々なものに組み込まれ我々の周りに散在する状況となるであろう。そのような組み込みデバイスは、バグを含むと生命や安全性を脅かしかねず、大変大きな社会問題を引き起こす可能性がある。従って、その高信頼化・安全性維持は大変大きな問題であり、それを保証する技術は、今後の健全な情報社会発展のキーを握る重要な技術である。こういった研究により、サーバワールドと人間社会をシームレスに繋ぐ技術が実現し、電気電子工学技術により社会的弱者を支援し、豊かな社会創出にも大きく貢献することが可能となる。

### ③ 情報メディア技術

ハイビジョンなどデジタル家電機器はこれまで我が国が先導的に研究開発を進め、国際的な市場を形成してきた。我が国の強みであるエレクトロニクス技術、映像技術でふたたび、世界市場をリードしていくことが求められており、とりわけ立体映像技術やそれを表示する多様なデバイス技術は国が取り組むべき極めて重要な技術である。

立体映像技術の実現により、遠隔会議、遠隔医療・介護、遠隔教育など、環境、少子高齢化社会などの課題解決に資することができる。

#### ア 新映像情報メディアシステムへの期待

テレビジョンは、白黒からカラー、そしてハイビジョンへと高画質・高音質化へと進展してきた。また、アナログ放送からデジタル放送へと展開し、ハイビジョン放送の普及と、ワンセグ、データ放送などより便利な機能を実現した。

表示デバイスもブラウン管から薄型ディスプレイへ、記録デバイスもアナログビデオテープレコーダーからブルーレイDVDなどへと進展してきた。しかもその進化はとどまるどころを見せていない。たとえばディスプレイでは、さらなる画質向上、大型化、薄型・軽量化、低消費電力化、低価格化などが急ピッチで進められている。

こうしたハイビジョン、薄型テレビ、デジタル映像の技術は、日本が世界に先

駆けて開発をすすめてきたところであり、この分野では日本は依然として世界をリードしている。しかし、それほど遠くない将来にはハイビジョンの市場は飽和することが容易に予測される。技術的には、すでにハイビジョンを大きく上回る諸性能を、撮像系においても、記録・処理系・伝送系でも、そして表示系でも実現できるようになっている。それをどう活かして、どのような新世代の映像情報メディアを構築すべきかが今、映像産業に携わる技術者・研究者にとって大きな検討課題となっている。

一方、少子高齢化、環境問題、情報格差など深刻な社会的課題が山積しており、バリアフリー、省エネルギーなど様々な対策が講じられている。それらは、社会的課題を克服し持続可能な社会に転換していこうとする努力ではあるが、さらには、より心豊かに生活でき、高齢者も積極的に社会参画できる、もっとアクティブで明るい社会に転じるようにしていきたいところである。新しく開拓される映像情報メディアはこうした対策に貢献していくことが重要である。それは、放送サービスだけでなく、環境、教育、医療・福祉、文化など多様な分野で活躍するシステムでなくてはならない。

以下、そうした明るい社会を構築し、国際産業力強化と経済的価値の増幅にも貢献できると想定される新しい映像情報メディアのいくつかの例を示した。

## イ 「より感動的」なメディア実現に向けて

### (ア) 超臨場感コミュニケーションシステム

時空間を「超えて」あたかもその場にいるような感覚をもたらす高臨場感システム、さらには物理的に伝達される以上に、より大きな感動やより深い理解が得られるような臨場感を「超える」コミュニケーション手段を提供する超臨場感システム。

こうしたシステムを実現するには、超高精細・立体映像、立体音場再生、触覚なども同時に提示するマルチモーダルやインタラクションシステム、VRなどの技術の高度化が必要となる。五感の認知メカニズムや心理学、大画面表示や大容量記録などのデバイス技術、符号化、ブロードバンドネットワークなど幅広い研究が求められる。

### (イ) 映像による自己表現ツール（コミュニティ映像文化創成、映像アート）

ブログ発信、WEB2.0型コミュニティメディア等における映像による自己表現支援ツール。これまで映像制作はプロの分野とされてきたが、誰もが簡単に映像制作できるようにすることが求められてくる。シナリオを記述するだけでCGキャラクターと音声合成で番組を生成するソフトウェアやプロのノウハウを学びながらビデオ編集できるシステムなどの研究開発例があるが、こうした技術は一層重要になってくると考えられる。

また、映像メディアを新しいアートとしての表現手段に取り込んでいく動きが出てきており、それを支援するツールの開発も求められよう。



## ウ 「より便利」なメディアに向けて

### (ア) フレキシブルディスプレイ

動画表示可能な電子ペーパー。このデバイスが実現すると、長い年月続いてきた紙の文化、活字文化が大きく変わる可能性がある。本や新聞が変わるだけでなく、衣服やインテリア、エクステリア、そして街中の壁がフレキシブルディスプレイでカバーされる可能性があり、表示するコンテンツを変更することで、自由にデザインを変えることができる。

紙媒体のような柔軟かいシステムとするには、表示デバイスの技術だけでなく駆動回路や無線受信デバイスなどすべての回路を変えていく必要がある。また、どこにいても新鮮な映像情報を取り込むことができるブロードバンドなワイヤレスネットワークシステムも構築する必要がある。

### (イ) ユビキタス映像

映像アーカイブスや映像版センサネットワーク。ブロードバンドネットワークの普及で過去の映像を要求すれば直ぐに再生され、見ることが出来る VOD 環境が整ってきた。また監視カメラをはじめいたるところに撮像カメラが配置される時代になっている。時空を超えて見たい時代や見たい場所の映像を見られるユビキタス映像は、上記の超臨場感システムの入力になる可能性があり、その活用できるシステムが望まれる。

ユビキタス映像として、ウェアラブル情報端末や自分自身の行動を記録しておくライフログもある。

### (ウ) 映像コンテンツの流通と活用

どのような内容が含まれているかを示すメタデータ付き映像情報コンテンツ。映像メディアは、映し出されている情景を人間が見て初めて意味のあるものであり、かつ時間的要素を含む大容量なもので、コンピュータにとっては極めて取り扱にくい。今後、映像情報がネットワークに氾濫することが予想されるなかで、検索、内容把握、再利用・流通をスムーズにかつ信頼性よく行うための技術が重要になる。映像情報の意味や価値を記述するメタデータを映像情報と一体管理することはそれを解決する手段となりうる。メタデータの自動付与などの研究が各所で進められてきている。

## エ ソーシャルメディアとしての映像情報メディアへ

これまで述べたようにネットワークの普及と映像機器の低廉化によって、映像情報メディアはテレビ放送によって一方的に提供される時代から人と人とのコミュニケーションを仲介する（SNS の様な）多様なソーシャルメディアへと大きく変容しつつある。

多様化の側面の一つは、発信者数と受信者数の規模の多様化である。情報を（1 : n）の形で流すマスコミュニケーションがこれまでの映像情報メディアであったが、

今後は、ある特定の分野に興味を持つ人たちに絞り込んで配信するミニコミあるいはコミュニティ放送といったnが桁違いに小さい映像サービスが出現する。デジタルサイネージ（動画広告塔）と呼ばれるスーパーマーケットや販売店向けのビデオ配信もnは小さいが、これから注目されるビジネスである。また、ビデオオンデマンドのようにユーザーからの要求に個々に応えるケースや映像を使ってコミュニケーションし合う（1：1）のケースが、ネットワークのブロードバンド化によって増加してきている。さらに、自分だけの映像を撮って貯めておくいわゆるライフログは（1：0）の形態と見ることが出来る。そして多地点に設置されたカメラからの映像の監視は（n：1）型であり、これは時空間を超えて見たい映像を見ることが出来るシステムとして、前章で述べたように超臨場感システムの入力としての機能を果たす。

文化的視点からの映像情報メディアの多様化も見逃せない。放送や映画コンテンツとしての映像情報は、ディレクターや記者等が彼らの伝えたい意志、意図、事実を、実世界を映像として切り取ったり、出演者に演じさせて撮影したり、CGによって映像化し、それらを編集することで作成される。こうしたプロの映像制作の一般化、大衆化の方向である。前章で述べたブログの映像版や映像アートの普及である。

こうした多様化はしかし、映像マスメディアの役割や価値を減少させるわけではない。映像制作配信のプロとして、偏向がなく信頼性のあるニュース、感動させるドラマ、新しい社会現象、事象の紹介と分析するといった教養・教育コンテンツなど、映像コンテンツが一般化すればするほど差別化されたものを提供することが一層求められるであろう。

#### ④ ディペンダブルICT

我が国が従来から蓄積してきた情報通信技術（ICT）の強みを活かし、将来の、信頼性の極めて高いディペンダブルICT、頼りに出来るICT、に向けた新たなビジョンを構築することが、我が国の国際競争力を高め、持続可能な発展を推進するために重要である。すなわち、これまでの優れた科学技術科学・技術、人材の活用、活力再生 とともに、世界・国が必要とする科学技術科学・技術や公的サービスの予測と施策への反映する必要がある。特に世界最高水準の学術研究活動と国・納税者への直接貢献する公共および産業活動を適切なバランスをもって推進すべきである。

具体的には、

- (1) 無線、光などの ICT の強みを活かし、世界最高水準の研究促進
- (2) 世界、我が国に必要とされる科学・技術・サービスの常時掘り起こし
- (3) 必要な分野の人材と予算確保
- (4) ICT 人員の意識改革、権限と責任のバランス、適正な評価と競争原理

その実現のためには、次の活動事項を推進することが望まれる。

- (1) 我が国固有の ICT を再認識し、集中的に研ぎ澄ますための予算・人材の集中投資
- (2) 我が国固有の基礎・基盤技術と国・納税者の求めるサービス・応用を縦横とするマトリックスを整理し、技術ベースの研究組織と応用プロジェクトベースの運営
- (3) 我が国に不足している社会的要請の高い分野を外部機関との連携により強化
- (4) 国外機関との連携による外部資金と人材獲得
- (5) 大学や研究機関と産業界の様々な人事交流（外部への出向や研修、外部からの執行や兼業等）

## ア 我が国の ICT 分野で推進すべき重点研究

上記の基本方針への提言を踏まえ、国際的な競争が激化する ICT 分野において、持続可能な発展のために我が国が世界をリードすべき課題は、安心・安全を支える信頼に足る ICT：「ディペンダブル ICT」である。すなわち、国民の安心安全に直結する金融、交通、エネルギー、医療などの社会インフラを支え、現状の問題の解決とより良い未来の先駆けとなる先端 ICT の研究開発と産業化を推進する。特に、高い信頼性、安全性、耐久性が求められるインフラやシステムを支える ICT、すなわち、「ディペンダブル ICT」こそは、国が提供すべき公的サービスである。そして、環境 ICT、医療 ICT、国防 ICT、防災 ICT などは、学術研究機関の成果を生活に活かし民間ビジネスが活性化するために切り開くべき ICT である。

具体的には、

- (1) 医療 ICT：医療過誤、医療費削減などの社会問題に直接対応できる ICT、ボディアエリアネットワーク（BAN）と半恒久的に設置されたインフラネットとの接続によるユビキタス医療、医療機器ネットワーク化、ICT を前提にした予防医療や先端医療、公共サービスと新ビジネス創生
- (2) 環境 ICT：衛星ネット、インフラネット、必要により適宜に構築するアドホックネットなどを用いたセンサ網によって実現する環境センシングと、それに基づく公害、エネルギー供給など制御のための ICT
- (3) 国防 ICT：衛星やリモートセンシングなどの我が国固有技術に基づく情報収集と、その国防への支援
- (4) 防災 ICT：センサネットワーク、リモートセンシングなどによる災害予知、災害の緊急無線などによる災害普及支援
- (5) 高信頼組み込みデバイス技術：ディペンダブル ICT のための高信頼デバイス、システム技術

## イ 推進すべき ICT 分野(特に、無線分野)

我が国の強みを活かし、安心安全で持続可能な社会を構築するために必要な無線

ICT 分野として、次の分野を推進すべきである。

- (1) 垂直統合無線技術：物理層・MAC層などデータリンクを担う層間のクロスレイヤ統合技術に限らずネットワーク・アプリケーション層から物理層以下の (Electronics) 層を含め、個別最適化から統合最適化。さらに、無線と有線ネットワークを統合するネットワークアーキテクチャとして、無線に適したアーキテクチャ構築
- (2) スケーラブルな無線技術：衛星ネット、インフラネット、アドホックネット、回路、チップ間ネット、チップ内ネットなど、ネットワークの大小に関わらずに共通な形態を持たせる、スケーラブルな無線技術
- (3) 制御通信技術：ロボットや機器内の制御用ネットの無線化と、通信・測距・センサとの統合化
- (4) 周波数有効利用技術：従来の狭帯域化に限らず、周波数共用に必要な時間・空間領域を用いる通信環境を認識し、状況に自動的に適応するコグニティブ無線、周波数帯の多重利用（オーバーレイ）を前提とした超広帯域（UWB）無線、数 10m 程度の範囲を基礎的なエリアとするフェムトセルなどの超近距離無線による利用効率向上等
- (5) 協調通信：セルラーネットワークやセンサーネットなどの複数の分散配置 (Distributed) されたノードが協調 (Collaborate、Cooperate) し、低消費電力や冗長ルーティングによる高信頼性実現
- (6) 地球・宇宙規模天文・リモートセンシング：軌道上衛星利用 GeoScope（地上俯瞰観測）、ポスト GPS などへの挑戦
- (7) 光電波融合技術：ミリ波、テラヘルツ無線と光無線技術のデバイスレベルからシステムレベルでの通信・センシング・制御のための融合技術
- (8) さらに新しい、周波数資源の切迫を救うことの出来る、新メシア通信技術：照明光通信 (VLC)、電源線伝送 (PLC)、人体通信、超音波、表面弾性波、静磁波などのメディアによる通信・制御技術

## 4 むすび

金融界の未熟性が露呈して、世界経済に大きな混乱を招き、我が国の産業界も大打撃を受けている。一方、環境・資源の有限性による従来型社会システム、経済産業活動の限界が明らかになるとともに、これまで経験したことのない少子高齢化社会に突入しつつある現在、新しい、政治・経済・社会体制構築に向けた模索が徐々に始まっている。少なくとも、何らかの体制変革の必要性は、広く認識されるに至っている。一昨年来の経済産業社会の大混乱によって、産業界の変革は一層の急務となった。ただ、旧来のしがらみに捕らわれることの多い我が国で、この急激な転換期を無事乗り越え、新しい、安心・安全な持続的発展社会に脱皮することが出来るのかどうか、危惧は大きい。

長期低落を予兆する様な、ある種閉塞した社会状況の中で、我が国の若者の間では、地道な努力を必要とする工学、中でも特に、高度な数学的・物理的知識背景を必要とする、電気電子工学に取り組もうとする意欲や関心が薄れつつある。しかしながら、同時に、社会に大きなパラダイム変換をもたらすブレークスルー技術出現への期待は極めて大きい。変革の時代にあっても、今後の社会システムにイノベーションをもたらすブレークスルー技術の中核が、モノとしての電気電子工学やソフトウェアとしての情報工学であることに変わりはない。

創造の歓び、精魂を込めて新しいものを創り出すことの充実感を人々の間で共有し、社会にイノベーションをもたらすべく、今こそ、電気電子工学の更なる興隆、自然科学ばかりでなく人文・社会科学をも積極的に取り入れた新しい電気電子工学の構築、を目指す必要がある。そのために電気電子工学委員会として、以下を実施する。

### ア 電気電子工学のあり方の検討

我が国の今後の産業の発展を支える重要なコア技術領域である電気電子工学が、新しい時代に対応して成長してゆくために、電気電子工学のあり方を再検討して方向性を明示する。

### イ 電気電子工学分野の研究開発環境の整備

新しい電気電子工学のあり方を実現するために、産官学に対しその理解を得る努力を行うとともに、必要な研究開発投資をおこなうなどの必要措置を明らかにする。

### ウ 人材育成環境の整備

科学・技術に係わる知財創出の中核である人材を着実に供給するために、処遇を含め世界から優れた人材を引き付けることができる環境整備策を提示する。

<参考資料> シンポジウム「電気電子工学分野の将来像」

1. 日時 平成 21 年 5 月 29 日(金) 13:30～17:00
2. 場所 日本学術会議 1 階講堂
3. プログラム

13 : 30 開催挨拶

田中 英彦 (日本学術会議電気電子工学委員会 委員長)

13 : 35 基調講演

久間 和生 (三菱電機株式会社上席常務執行役開発本部長)  
「電気電子産業のイノベーション戦略」

14 : 15 講演

中沢 正隆 (東北大学 教授)  
「グローバル時代におけるコミュニケーションルネッサンス」

14 : 40 講演

伊澤 達夫 (東京工業大学 理事・副学長)  
「デバイス・電子機器分野研究開発の現状と課題」

15 : 05 講演

大西 公平 (慶応大学 教授)  
「理工系離れの現状と今後の対策」

15 : 30 休憩

15 : 45 パネル討論

司会 : 福田 敏夫 (名古屋大学 教授)  
パネリスト : 中沢 正隆、伊澤 達夫、大西 公平、  
西永 頌 (豊橋技術科学大学前学長)、河野 隆二 (横国大教授)

17 : 00 閉会